

Lezione

PONTI E GRANDI STRUTTURE

Prof. Pier Paolo Rossi

Università degli Studi di Catania

AZIONI CLIMATICHE

Azioni climatiche sugli impalcati

Nota

Il periodo di ritorno dei sovraccarichi e delle azioni climatiche agenti sulla costruzione non è correlato alla vita nominale di progetto dell'opera,

essendo i livelli di affidabilità regolati dalla combinazione dei coefficienti parziali, calibrati per essere utilizzati congiuntamente ai valori caratteristici delle azioni stesse. Questi ultimi sono definiti indipendentemente dalla vita nominale attesa per la costruzione con un preassegnato periodo di ritorno (a titolo esemplificativo 50 anni per le azioni ambientali).

Quale eccezione alla invariabilità del periodo di ritorno delle azioni di natura climatica, per le sole verifiche nelle fasi costruttive, si può fare riferimento a periodi di ritorno ridotti delle azioni stesse.

L'AZIONE DEL VENTO SUGLI IMPALCATI DA PONTE

Azioni sugli impalcati

Fondamenti

Il flusso che si instaura nell'intorno di un impalcato da ponte, e la distribuzione della pressione esercitata dal vento, costituiscono fenomeni molto complessi dipendenti da:

- └ forma dell'impalcato e dei suoi elementi (schermi, barriere)
- └ presenza e distanza di un eventuale impalcato affiancato
- └ presenza e distribuzione di veicoli o convogli di transito

Azioni sugli impalcati

Fondamenti

Nei casi in cui il vento non desta fenomeni dinamici nelle strutture del ponte, o quando l'orografia non dà luogo ad azioni anomale del vento, l'azione del vento si può modellare come un'azione statica.

L'azione da vento si considera diretta ortogonalmente all'asse del ponte e/o diretta nelle direzioni più sfavorevoli per alcuni dei suoi elementi (ad es. pile).

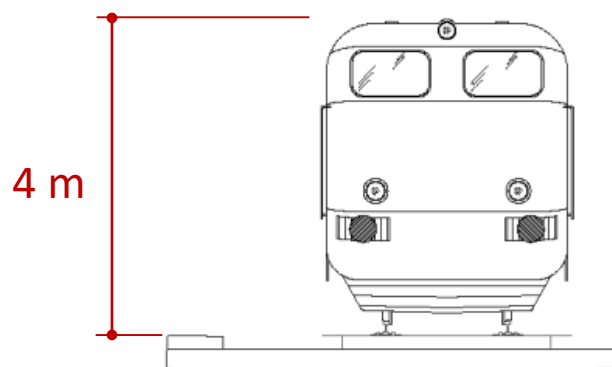
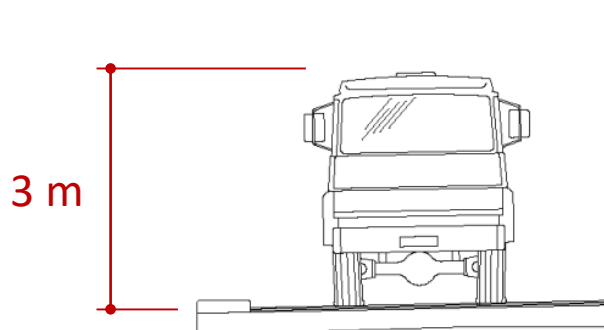
Inoltre, tale azione si considera agente sulla proiezione nel piano verticale delle superfici investite dal vento.

Azioni sugli impalcati

Fondamenti

La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposto al vento si assimila ad una parete rettangolare continua a partire dal piano stradale.

- Nel caso di ponti stradali, l'ingombro della sagoma dei veicoli in transito ha un'altezza pari a 3 m.
- Nel caso di ponti ferroviari, l'ingombro della sagoma dei convogli in transito ha un'altezza pari a 4 m.



Azioni sugli impalcati

Fondamenti

Quando l'azione del vento è assunta simultanea alla presenza di veicoli o convogli in transito, essa va scalata mediante opportuni coefficienti parziali, che tengano conto della probabilità di occorrenza simultanea del vento di progetto e della presenza di traffico veicolare o ferroviario.

Azioni sugli impalcati

Fondamenti

La letteratura tecnico-scientifica su questa materia è tuttora carente di dati sperimentali e di criteri di calcolo applicabili.

I criteri forniti di seguito vanno interpretati come pure indicazioni preliminari, generalmente a favore di sicurezza.

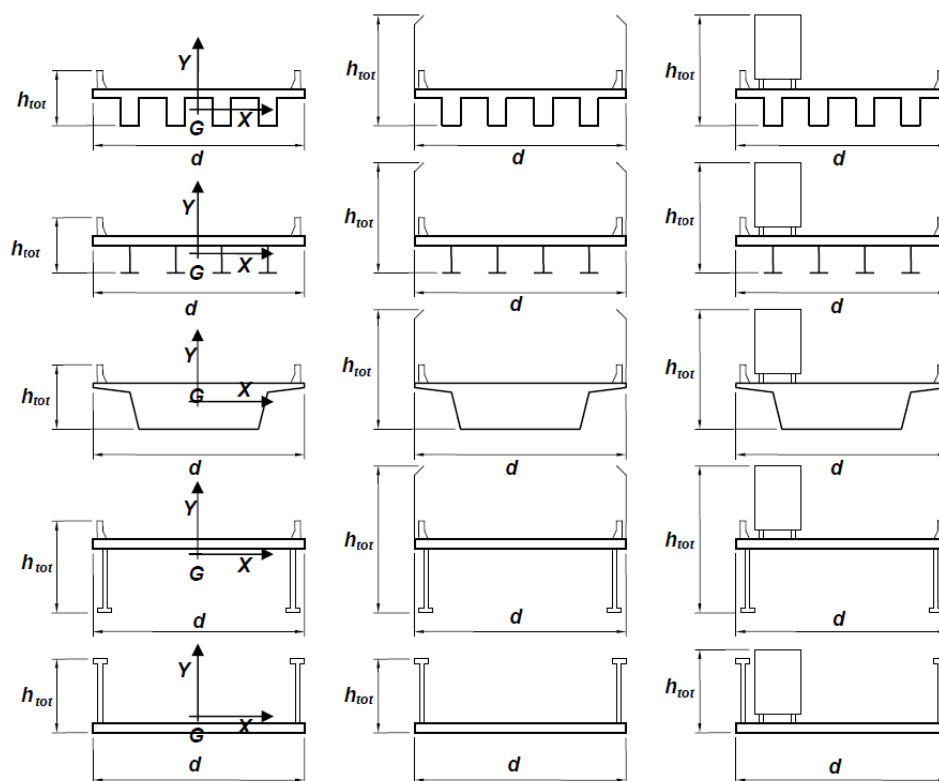
Essi sono applicabili a impalcati da ponte:

- a sezione costante lungo la linea d'asse
- a luce singola o multipla, purché di lunghezza non superiore a 200 m

Azioni sugli impalcati

Fondamenti

Le indicazioni valgono inoltre limitatamente alle seguenti tipologie:



Azioni sugli impalcati

Impalcato isolato

Ammettendo che il vento agisca in direzione prevalentemente orizzontale, ortogonalmente all'asse dell'impalcato, esso esercita un insieme di azioni per unità di lunghezza riconducibili a:

- Una forza parallela alla direzione del vento f_x
- Una forza verticale f_y
- Un momento intorno alla linea d'asse m_z

Queste azioni sono quantificate mediante :

- Coefficiente di forza c_{fx}
- Coefficiente di forza c_{fy}
- Coefficiente di momento c_{mz}

Azioni sugli impalcati

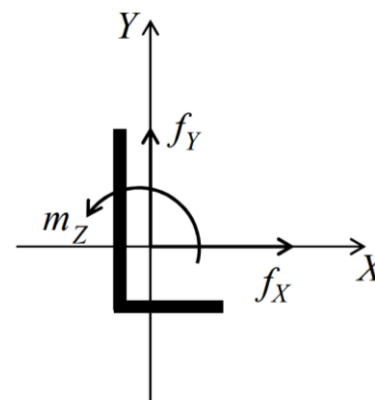
Impalcato isolato

Le azioni aerodinamiche di picco possono essere espresse mediante due forze e un momento torcente, calcolate per unità di lunghezza, applicate lungo l'asse di riferimento della costruzione:

$$f_X(z) = q_p(z) \cdot l \cdot c_{fX}$$

$$f_Y(z) = q_p(z) \cdot l \cdot c_{fY}$$

$$m_Z(z) = q_p(z) \cdot l^2 \cdot c_{mZ}$$



dove:

q_p pressione cinetica di picco del vento

z quota sul suolo

l dimensione di riferimento associata ai coefficienti

Azioni sulle costruzioni

Pressione cinetica di picco

La pressione cinetica di picco q_p (in N/m²) è data dall'espressione:

$$q_p = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \cdot c_e(z)$$

dove

v_b è la velocità di riferimento del vento (in m/s);

ρ è la densità dell'aria assunta
convenzionalmente costante e pari a 1.25 kg/m³;

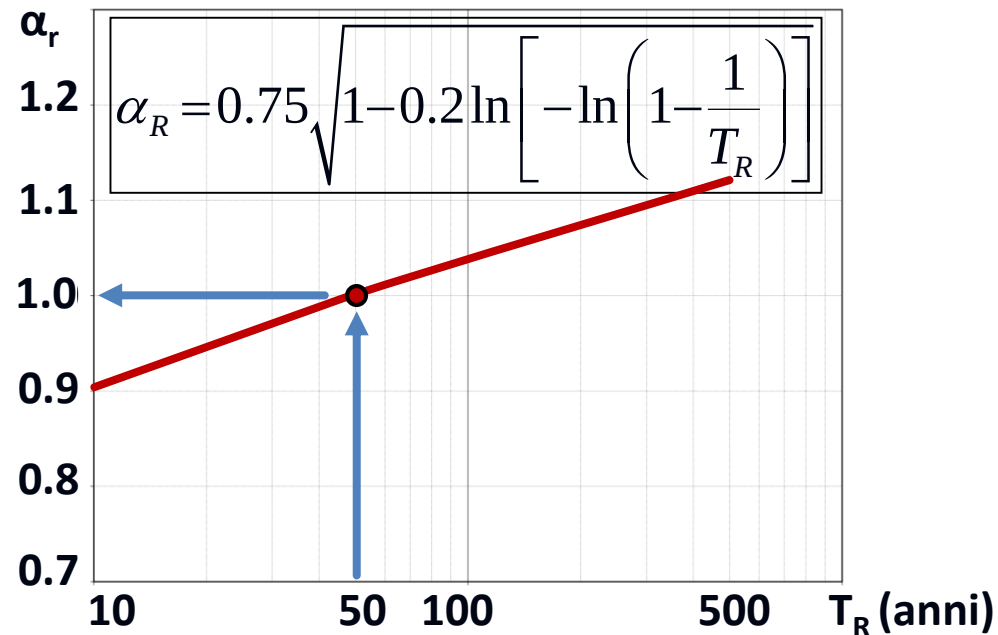
c_e è il coefficiente di esposizione.

Il vento

Velocità di riferimento

Per periodi di ritorno diversi da 50 anni ($10 \leq T_R \leq 500$ anni)

$$v_b(T_R) = \alpha_R v_b$$



Il vento

Velocità di riferimento

Per un'opera di nuova realizzazione in fase di costruzione o per le fasi transitorie relative ad interventi sulle costruzioni esistenti, il periodo di ritorno dell'azione può essere ridotto come specificato:

- per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto non superiore a tre mesi, si assumerà $T_R \geq 5$ anni;
- per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto compresa fra tre mesi ed un anno, si assumerà $T_R \geq 10$ anni.

Azioni sugli impalcati

Sezione rettangolare

Coefficiente c_{fx0}

nel caso di azione del vento sugli elementi di sezione rettangolare:

$$c_{fx0} = 2.0 \quad \text{se} \dots\dots\dots 0.1 \leq d / b \leq 0.2$$

$$c_{fx0} = 0.73 \cdot \log_{10}(d / b) + 2.51 \quad \text{se} \dots\dots\dots 0.2 \leq d / b \leq 0.7$$

$$c_{fx0} = -1.64 \cdot \log_{10}(d / b) + 2.15 \quad \text{se} \dots\dots\dots 0.7 \leq d / b \leq 5$$

$$c_{fx0} = -0.33 \cdot \log_{10}(d / b) + 1.23 \quad \text{se} \dots\dots\dots 5 \leq d / b \leq 10$$

$$c_{fx0} = 0.9 \quad \text{se} \dots\dots\dots 10 \leq d / b \leq 50$$

dove

d e b sono le dimensioni del rettangolo

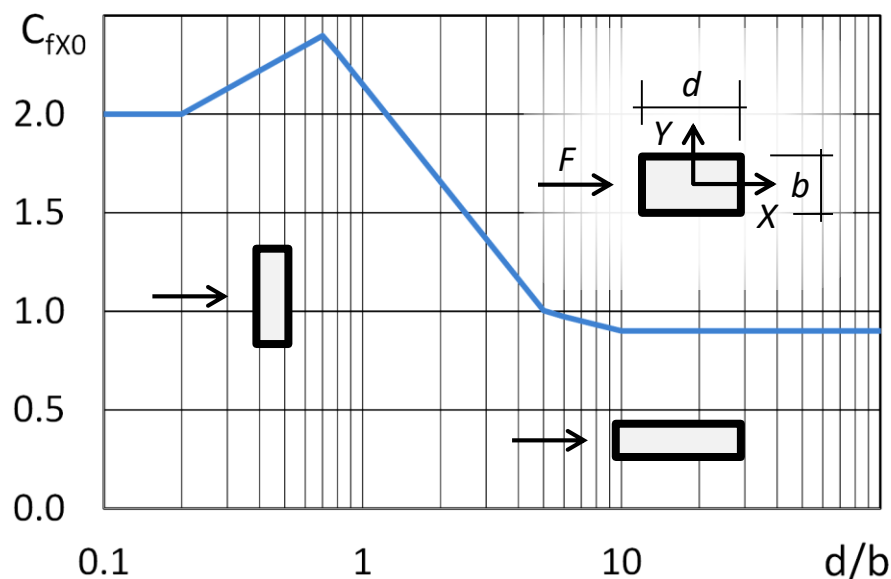
nella direzione parallela e ortogonale alla direzione del vento

Azioni sugli impalcati

Sezione rettangolare

Coefficiente c_{fx0}

nel caso di azione del vento sugli elementi di sezione rettangolare:



Nota !

La dimensione di riferimento del rettangolo è pari a $l=b$.

Azioni sugli impalcati

Impalcato isolato

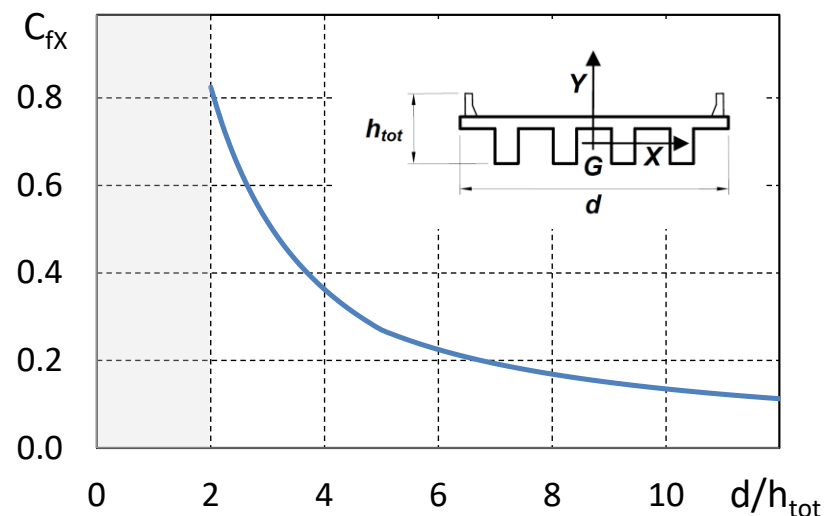
Coefficiente c_{fx}

$$\frac{1.85}{d/h_{tot}} - 0.10 \quad \text{se ...} \quad 2 \leq d/h_{tot} \leq 5$$

$$\frac{1.35}{d/h_{tot}} \quad \text{se ...} \quad d/h_{tot} > 5$$

dove :

d larghezza dell'impalcato nella dir. del vento
 h_{tot} altezza totale d'ingombro dell'impalcato



Nota !

Se il rapporto d/h_{tot} risulta minore di 2 la valutazione del coefficiente c_{fx} è svolta mediante i criteri della sezione rettangolare.

Azioni sugli impalcati

Impalcato isolato

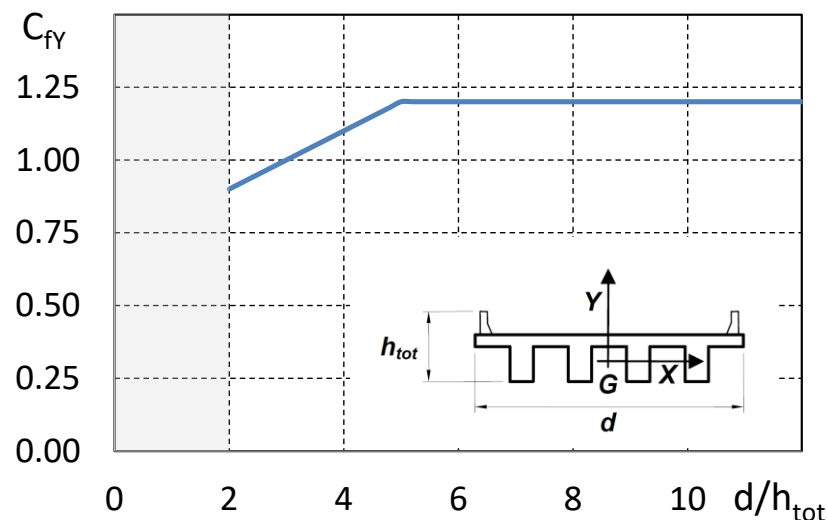
Coefficiente c_{fy}

$$\pm \left(0.7 + 0.1 \frac{d}{h_{tot}} \right) \quad \text{se } 0 \leq d/h_{tot} \leq 5$$

$$\pm 1.2 \quad \text{se } d/h_{tot} > 5$$

dove :

d larghezza dell'impalcato nella dir. del vento
 h_{tot} altezza totale d'ingombro dell'impalcato



Coefficiente c_{mz}

$$c_{mz} = \pm 0.2$$

Nota ! La dimensione di riferimento l è pari alla larghezza d .

Azioni sugli impalcati

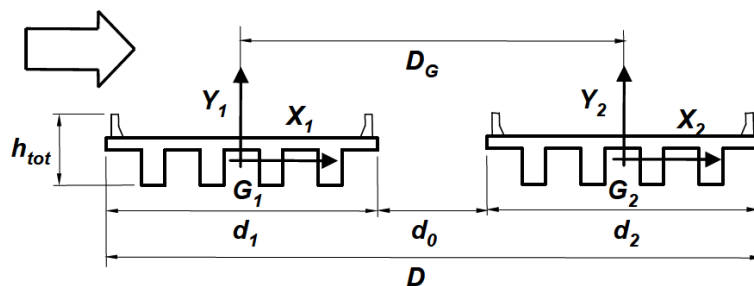
Impalcati affiancati

Nel caso di impalcati affiancati di forma simile, possono insorgere effetti rilevanti di interferenza.

a) Se la spaziatura fra gli impalcati soddisfa la condizione :

$$\frac{d_0}{\max \{d_1, d_2\}} \geq \frac{1}{4}$$

le azioni del vento su ciascun impalcato sono calcolate come se i ponti fossero isolati



Azioni sugli impalcati

Impalcati affiancati

b) Se la spaziatura fra gli impalcati non soddisfa la precedente condizione, ed i due impalcati sono indipendenti strutturalmente

- Si valutano le azioni del vento (f_{x1}, f_{y1}, m_{z1}) su ciascun impalcato, come se questo fosse isolato;
- Si valutano le azioni del vento (f_{x2}, f_{y2}, m_{z2}) trattando l'insieme dei 2 impalcati come un unico impalcato di larghezza totale D;
- Le azioni del vento su ciascun impalcato sono fornite dalle espressioni:

$$f_x = \max \begin{cases} f_{x1} \\ 0.75 f_{x2} \end{cases} \quad f_y = \pm \max \begin{cases} |f_{y1}| \\ 0.5 |f_{y2}| + \frac{|m_{z2}| - |m_{z1}|}{D_G} \end{cases} \quad m_z = m_{z1}$$

Azioni sugli impalcati

Impalcati affiancati

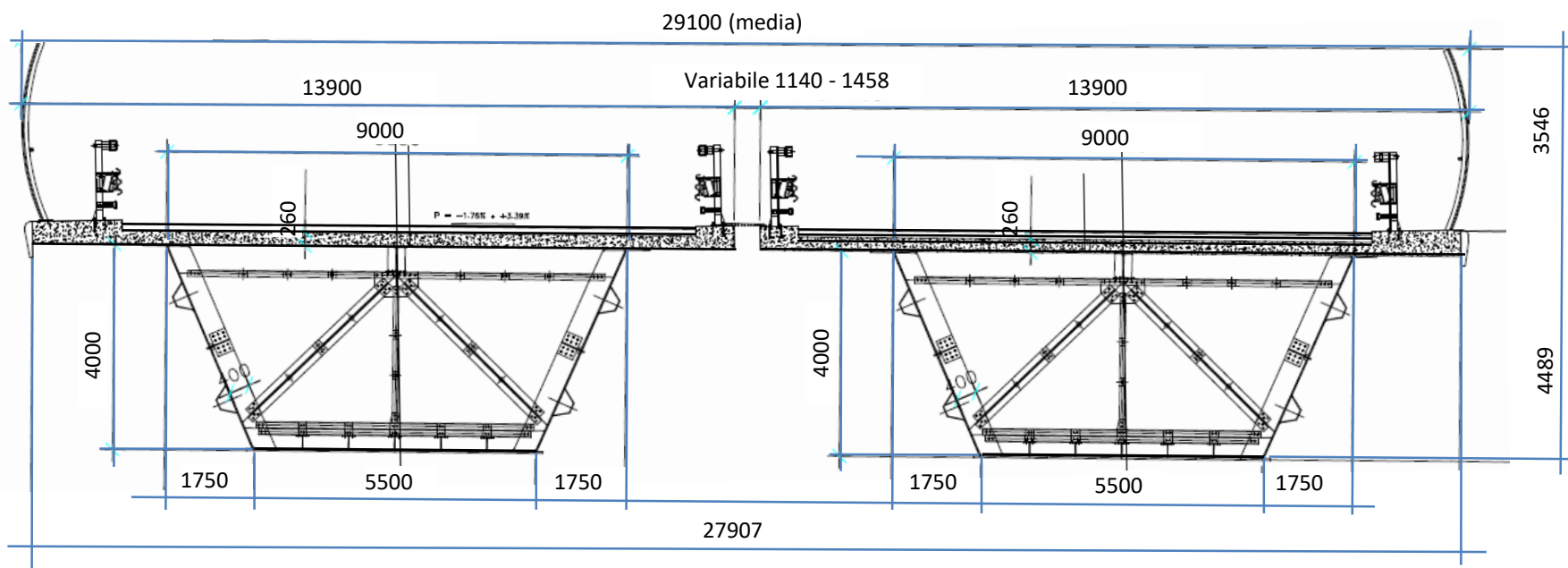
- c) Se la spaziatura fra gli impalcati non soddisfa la precedente condizione, ed i due impalcati sono collegati strutturalmente,
- la forza in direzione del vento f_x è pari al maggiore valore tra la forza valutata trattando l'insieme dei due impalcati come un unico impalcato di larghezza totale D e la forza valutata considerando il solo impalcato sopravento come isolato;
 - la forza verticale f_y e il momento torcente m_z sono valutati trattando l'insieme dei due impalcati come un unico impalcato di larghezza totale D.

Applicazioni ai ponti

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

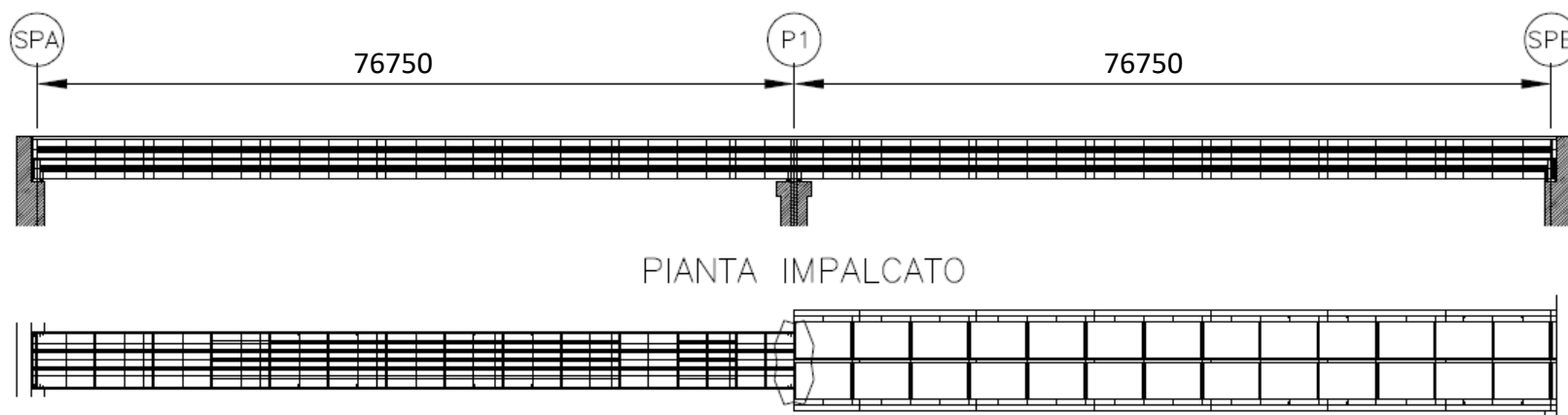
I singoli impalcati sono costituiti da un cassone trapezoidale in acciaio di altezza pari a 4000 mm, base inferiore 5500 mm e base superiore 9000 mm. Il cassone collabora con una soletta in calcestruzzo armato di spessore 260 mm e larghezza complessiva pari a 13700 mm.



Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

In direzione longitudinale il ponte è caratterizzato da uno schema statico di trave continua a due campate su tre appoggi; le due campate hanno uguale luce, ciascuna pari a 76.75 m. Nel complesso il ponte è lungo 153.50 m.

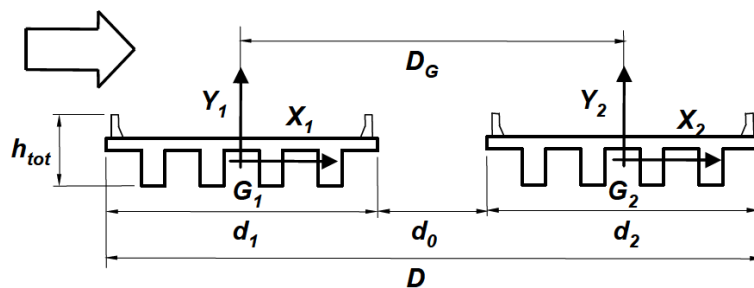


Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

Riepilogo delle caratteristiche geometriche del ponte

$d_1=d_2$	13900 mm
d_0 (media)	1300 mm
$D = d_1 + d_2 + d_0$	29100 mm
h_{tot}	8035 mm
$D_G = d_1/2 + d_2/2 + d_0$	15200 mm
L	76750 mm



Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

Essendo in presenza di due impalcati affiancati:

$$\frac{d_0}{\max \{d_1, d_2\}} = \frac{1.30}{13.90} = 0.094 < \frac{1}{4}$$



La valutazione delle azioni aerodinamiche sugli impalcati va svolta mediante la procedura relativa al caso b)

- † Si valutano le azioni del vento (f_{x1} , f_{y1} , m_{z1}) su ciascun impalcato, come se questo fosse isolato;
- † Si valutano le azioni del vento (f_{x2} , f_{y2} , m_{z2}) trattando l'insieme dei 2 impalcati come un unico impalcato di larghezza totale D;
- † Le azioni del vento su ciascun impalcato sono fornite dalle espressioni:

$$f_y = \pm \max \left\{ \begin{array}{l} |f_{y1}| \\ 0.5 |f_{y2}| + \frac{|m_{z2}| - |m_{z1}|}{D_G} \end{array} \right.$$
$$f_x = \max \left\{ \begin{array}{l} f_{x1} \\ 0.75 f_{x2} \end{array} \right. \quad m_z = m_{z1}$$

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

Valutazione della pressione cinetica di riferimento

L'altezza di riferimento dell'impalcato è pari alla quota del punto medio dell'impalcato posto a quota maggiore, ovvero :

$$\bar{z} \cong 25.00 \text{ m}$$

Supponendo $T_r = 50$ anni :

$$q_p(\bar{z}) = 1.260 \text{ N/m}^2$$

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

1) Azioni del vento su ciascun impalcato come isolato

$$d_1 / h_{\text{tot}} = 13.9 / 8.035 = 1.73 < 2$$

La valutazione del coefficiente di forza c_{fX} è svolta mediante i criteri della sezione rettangolare. Data la notevole lunghezza del ponte, a favore di sicurezza, si trascura la riduzione data dagli effetti di bordo:

$$c_{fX} = c_{fX0} = 1.76$$

La forza orizzontale per unità di lunghezza è pari:

$$f_{X1} = q_p(\bar{z}) \cdot h_{\text{tot}} \cdot c_{fX} = 1.260 \cdot 8.053 \cdot 1.76 = 17.818 \text{ N/m}$$

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

1) Azioni del vento su ciascun impalcato come isolato

$$d_1 / h_{\text{tot}} = 13.9 / 8.035 = 1.73 < 2$$

Vengono calcolati il coefficiente di forza c_{fy}
ed il coefficiente di momento c_{mz} :

$$c_{fy} = \pm 0.873 \quad c_{mz} = \pm 0.2$$

La forza trasversale (verticale) e il momento torcente per unità di lunghezza, riferite a d_1 , sono :

$$f_{y1} = \pm 15.289 \text{ N/m} \quad m_{z1} = \pm 48.689 \text{ N}\times\text{m/m}$$

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

2) Azioni del vento trattando l'insieme dei due impalcati come un unico impalcato

$$D / h_{\text{tot}} = 29.1 / 8.035 = 3.62 > 2$$

Sono calcolati i coefficienti di forza c_{fx} e c_{fy} ed il coefficiente c_{mz}

$$c_{fx} = 0.41 \quad c_{fy} = \pm 1.062 \quad c_{mz} = \pm 0.2$$

La forza (orizzontale), la forza trasversale (verticale) e il momento torcente per unità di lunghezza, riferite a D , sono pari a:

$$f_{x2} = 15.033 \text{ N/m} \quad f_{y2} = \pm 38.939 \text{ N/m} \quad m_{z2} = \pm 213.396 \text{ N}\times\text{m/m}$$

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

3) Azioni aerodinamiche di picco agenti per unità di lunghezza su ciascun impalcato

$$f_x = \begin{cases} f_{x1} \\ 0.75f_{x2} \end{cases} \quad f_y = \pm \max \left\{ \begin{array}{l} |f_{y1}| \\ 0.5|f_{y2}| + \frac{|m_{z2}| - |m_{z1}|}{D_G} \end{array} \right. \quad m_z = m_{z1}$$

Azione	Valore 1		Valore 2		Valore finale	
f_x	17.818	N/m	15.033	N/m	17.818	N/m
f_y	15.289	N/m	38.939	N/m	30.305	N/m
m_z	48.689	Nm/m	213.396	Nm/m	48.689	Nm/m

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

La valutazione delle azioni aerodinamiche di picco trasmesse dai due impalcati alle strutture di supporto comuni, va svolta mediante la procedura relativa al caso c)

- la forza in direzione del vento f_x è pari al maggiore valore tra la forza valutata trattando l'insieme dei due impalcati come un unico impalcato di larghezza totale D e la forza valutata considerando il solo impalcato sopravento come isolato;
- la forza verticale f_y e il momento torcente m_z sono valutati trattando l'insieme dei due impalcati come un unico impalcato di larghezza totale D.

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

La valutazione delle azioni aerodinamiche di picco trasmesse dai due impalcati alle strutture di supporto comuni, va svolta mediante la procedura relativa al caso c)

La forza nella direzione del vento è pari al valore maggiore tra la forza calcolata trattando l'insieme dei due impalcati come un unico impalcato, e la forza ottenuta valutando il solo impalcato come isolato.

La forza trasmessa alla pila centrale è pari:

$$F_x = 17.818 \cdot (5 / 4) \cdot 76.75 = 1.71 \cdot 10^6 \text{ N}$$

La forza nella direzione del vento trasmessa a ciascuna spalla è pari:

$$F_x = 17.818 \cdot (3 / 8) \cdot 76.75 = 0.513 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

La valutazione delle azioni aerodinamiche di picco trasmesse dai due impalcati alle strutture di supporto comuni, va svolta mediante la procedura relativa al caso c)

La forza trasversale (verticale) e il momento torcente vanno valutati trattando l'insieme dei due impalcati come un unico impalcato di larghezza D .

La forza trasmessa alla pila centrale è pari:

$$F_y = \pm 38.939 \cdot (5 / 4) \cdot 76.75 = \pm 3.74 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Il momento torcente trasmesso alla pila centrale è pari:

$$M_z = \pm 213.396 \cdot 76.75 = \pm 16.38 \cdot 10^6 \text{ Nm}$$

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

La valutazione delle azioni aerodinamiche di picco trasmesse dai due impalcati alle strutture di supporto comuni, va svolta mediante la procedura relativa al caso c)

La forza trasversale (verticale) e il momento torcente vanno valutati trattando l'insieme dei due impalcati come un unico impalcato di larghezza D .

La forza trasmessa a ciascuna spalla è pari:

$$F_y = \pm 38.939 \cdot (3 / 8) \cdot 76.75 = \pm 1.12 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Il momento torcente trasmesso a ciascuna spalla è pari:

$$M_z = \pm 213.396 \cdot (1 / 2) \cdot 76.75 = \pm 8.19 \cdot 10^6 \text{ Nm}$$

Azioni sugli impalcati

Esempio: Ponte stradale a cassone chiuso

Riepilogando le azioni trasmesse dai due impalcati alla pila centrale e a ciascuna spalla:

<i>Azione</i>	<i>Valore riferito alla pila centrale</i>	<i>Valore riferito a ciascuna spalla</i>
F_x	$1.71 \cdot 10^6 \text{ N}$	$0.513 \cdot 10^6 \text{ N}$
F_y	$3.74 \cdot 10^6 \text{ N}$	$1.12 \cdot 10^6 \text{ N}$
M_z	$16.38 \cdot 10^6 \text{ Nm}$	$8.19 \cdot 10^6 \text{ Nm}$

Principali riferimenti

- ❑ Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni. D.M. 17 gennaio 2018 pubblicato sul Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - Serie generale
- ❑ Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici pubblicata sul Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 35 del 11 febbraio 2019 - Serie generale
- ❑ Consiglio Nazionale delle Ricerche. Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni (CNR/DT 207/2008). 19 febbraio 2009.
- ❑ Gulvanessian H., Formichi P., Calgaro J.A.
Guida all'Eurocodice 1. Azioni sulle strutture: EN 1991-1.1 e da 1.3 a 1.7.
2011 Editore EPC Libri. ISBN: 978-88-6310-271-0
- ❑ Cook N.
Guida all'Eurocodice 1. Azioni del vento: EN 1991-1.4.
2010 Editore EPC Libri. ISBN: 978-88-6310-270-3

FINE